中華農業研究（Jour. Agric. Res. China）43(2)：143～154（1994）

玉米營養生長期光合物質及氮素累積性狀與產量間關係之研究[1]

魏夢麗[2]　姜義展[2]　陳烈夫[3]　劉大江[2]

摘要：本計畫以玉米臺農一號爲材料，於1991至1993年秋作進行田間試驗，試驗田區土壤爲坋質壤土，前作均爲水稻。在玉米播種至吐絲期間施以變化栽培密度處理，試圖改變植株在吐絲期之乾物質與氮素累積量，藉以探討吐絲期以前之營養生長對產量性狀的影響。試驗之行距均爲 75 cm，播種時株距爲 11 與 22 cm，分別在雄穗分化始期或吐絲期進行間拔，使部份小區株距增爲 22 cm。玉米單株產量因密植而降低，但單位面積產量則增高；比較吐絲期開始株距均爲 22 cm 之三項處理，雖然在吐絲期的單株乾物質與氮素含量明顯的以播種後即維持 22 cm 株距者爲高，但子粒產量多無顯著差異，一穗粒數與平均百粒重對密度處理未呈現一定反應，兩項產量構成要素並表現互補效應。玉米植株自雄穗分化始期至吐絲期之日數，約爲全生育期的四分之一，此一期間所累積的乾物質可佔成熟期總乾物量的 25.3—43.1%，所累積的氮素量更高達總氮素含量的 40.4—63.0%，顯示此一階段具極高的碳素與氮素同化作用。植株於吐絲期之單株乾物質與氮素含量，前者佔成熟期總乾物重之 27.8—48.1%，後者佔成熟期總氮素含量之 47.8—75.5%，變域極大，以未施變化密度的處理較高，吐絲期始將株距自 11 cm 增大至 22 cm 處理較低。雖然三項自吐絲後即維持 22 cm 株距處理植株在吐絲期的營養生長量有異，但子粒充實期間之乾物質累積量均超過子粒產量，亦即如吐絲期營養生長量不同，吐絲後維持相同株距，仍可維持平衡的光合物質供需關係。各處理於吐絲後累積之氮素量則顯著低於子粒內氮素含量，顯示預貯性氮素對產量的重要性，氮素供需平衡關係亦以吐絲期始進行間拔處理的表現較優。綜合各項結果，認爲在本試驗條件下，吐絲期的營養生長量對子粒產量並不具決定性的影響，而玉米在子粒充實期間累積氮素與乾物質的能力，視植株在吐絲期的生長狀況與環境因子，可能表現極大的變化幅度，因而具有調節產量的功能。

關鍵詞：玉米、栽培密度、營養生長、產量。

玉米在子粒開始充實以前，可於營養器官中累積多量碳水化合物及氮素，以因應子粒充實過程對營養供應的大量需要[20]，尤以氮素的作用最大。以目前國內栽培最廣之玉米品種臺農 1 號爲例，在吐絲期時的乾物質累積量雖僅爲成熟期最終乾物量之40%左右，氮素累積量卻可高達總累積量的50-80%[2,25]，另一方面，其氮素收穫指數高達0.70[13]，顯示子粒充實對再轉移性氮素的依賴度極高，以及吐絲期以前營養生長的重要性。此外，在玉米品種間也具有差異，如臺農 1 號子粒充實對再轉移性氮素的依賴度即超過臺農351號[4]。

---

1. 臺灣省農業試驗所　研究報告第 1715 號。
2. 本所農藝系助理、約僱技術員及研究員。臺灣省　臺中縣　霧峰鄉。
3. 本所農場管理室助理。臺灣省　臺中縣　霧峰鄉。

多數玉米品種吸收氮素的主要時期爲吐絲以前，少數品種以吐絲後的吸收及同化爲主[17]，如果植株在吐絲後仍可自土壤中吸收多量氮素，則子粒充實過程中能夠獲得充份的氮素供應，對再轉移性氮素的依賴度因而降低，有可能延緩葉片等營養器官的老化[17]，應該具有較高的產量潛能。另一方面，如果植株在吐絲前可累積多量氮素，或子粒充實主要依賴再轉移性氮素供應，則此型品種的產量潛能可能不如前者，但對逆境的適應能力較高，因此在逆境情況下仍可保有較穩定的產量[10]。如能瞭解某一品種植株於吐絲期含氮量的多寡，如何影響吐絲後植株氮素供需、代謝及產量表現，對維持或提高其產量必將有所助益。

上述乾物質生產以吐絲後爲主及氮素累積以吐絲前爲主的現象，可以代表玉米重要的生育及產量生理特性，但是對玉米單一品種如臺農 1 號而言，吐絲期以前所累積乾物質與氮素量的多寡，亦即營養生長表現，對子粒充實性狀及產量表現的影響如何，仍然缺少充份的瞭解。由於玉米生育初期建立葉面積的速率[9]與乾物質生產效率[14,23]都是決定吐絲期乾物產量的必要條件，因此有必要詳細探討臺農 1 號品種在這方面的表現。本試驗採用栽培密度處理，於玉米雄穗分化始期及吐絲期改變植株株距，可以使臺農 1 號玉米在吐絲期具有不同的乾物質與氮素含量，而後探討在子粒充實期間的生長及產量表現，所得結果或有助於針對品種特性，發展完整的綜合經營管理技術，並供爲選育品種的參考資料。

材料與方法

以單雜交玉米品種臺農 1 號爲材料，於1991、1992及1993年秋作在臺灣省農業試驗所農場進行田間試驗，三年之播種日期分別爲 9 月20日、 9 月21日及 9 月 8 日；試區前作均爲水稻，土壤爲坋質壤土，1992年試驗進行前分析土壤 pH 值爲 5.8，有機質含量 2.0%，CEC 爲9.7 meq/100g，有效性磷與有效性鉀之濃度分別爲 28 與 133 ppm，銨態氮及硝酸態氮濃度分別爲 17.9 與 22.2 ppm。

試驗係採用栽培密度爲處理，播種時之行距均爲 75 cm，株距分爲兩種，即 11 與 22 cm，合每公頃 121,212 與 60, 606 株。1992 及1993 年試驗部份株距爲 11 cm 之小區在播種後 30 日玉米生育至第 9 葉期時，即相當於雄穗分化始期[1]予以間拔爲株距 22 cm（代號11-22-22），或於吐絲期間拔爲株距 22 cm（11-11-22），對照組（不間拔）代號爲11-11-11（株距均維持 11 cm）及22-22-22（株距均維持 22 cm），以上合計四項處理；1991年試驗改變栽培密度處理僅包括吐絲期將 11 cm 株距間拔至 22 cm。試驗採用逢機完全區集設計，小區爲 8 行區，行長 8 m，重複 4 次。氮肥用量均爲 200kg N/ha，磷與鉀肥用量爲 90 kg P_2O_5 與 100 kg K_2O/ha，肥料施用方法及田間栽培管理與王等[2]之方法相同。

於玉米播種後第30日起至吐絲及吐絲至成熟期間，每間隔約二週取樣一次，合計取樣七次，每次自每一小區逢機選取8-12株爲樣品，區分爲葉片、莖稈、苞葉、穗軸及子粒等部位，於送風乾燥箱中以 80°C 連續烘乾72—96小時，秤量乾物重，隨後經40目篩（mesh）磨粉，以 semi-micro Kjeldahl 方法測定氮素濃度，以氮素濃度及乾物重之乘積估算氮素累積量，並計算各生育階段之乾物質與氮素累積速率；成熟期自每小區選取32株樣品測定子粒產量及其構成要素。試驗所得各項資料均經變方分析，並以 Duncan's New Multiple Range Test 分析處理間差異顯著性。

本文僅涵蓋植株整體性狀與部份取樣期之試驗結果，有關植株各器官氮素與乾物質累積與分配資料，及子粒充實性狀，將另文提出報告。

結　果

採用株距 11 cm 播種，其後並不予間拔之植株（代號11-11-11），其單株子粒產量最低，但單位面積產量最高，其餘三項自播種或吐絲期間始株距維持 22 cm 處理的單株產量較高，但相互間之

差異多未達顯著水準（表１）。1993年試驗的產量較低，可能與播種期較早，且生育期間氣溫較高，玉米螟爲害嚴重及子粒充實期縮短有關。分析一穗粒數及百粒重兩項產量構成要素，亦以11-11-11處理較低，22-22-22處理之一穗粒數較多，但百粒重則因年度而有異。在其餘間拔後株距爲 22cm 處理之間，1992年以播種時株距爲 11 cm 但於吐絲期始間拔爲 22 cm 處理（11-11-22）的一穗粒數較低，百粒重較高，如提前於雄穗分化始期間拔株距至 22 cm（處理11-22-22），則呈現一穗粒數增多但百粒重降低的趨勢，。而1993年兩項間拔處理的一穗粒數相同，提前於雄穗分化始期處理（11-22-22）的百粒重較高。本項試驗結果顯示各項處理對產量構成要素的影響可能因年度及環境因子有異，但產量表現則呈現相似的趨勢。

表1. 栽培密度對臺農１號玉米子粒產量及其構成要素之影響（1991-1993年秋作）

Table 1. Effect of plant spacing on the yield and yield components of Tainung 1 corn plants cultivated in the fall crops of 1991, 1992, and 1993

Within-row spacing (cm) [z]	Kernel number per ear	100-kernel wt.(g)	Kernel yield	
			g/plant	t/ha
		1991		
11-11-11	484.6c[y]	15.71b	76.13b	9.23a
11-11-22	520.3b	23.60a	122.79a	7.44b
22-22-22	605.1a	20.92b	126.59a	7.67b
		1992		
11-11-11	339.5c	21.99b	74.67c	9.05a
11-22-22	504.2a	22.13b	111.56b	6.76c
11-11-22	435.8b	26.98a	117.59ab	7.13bc
22-22-22	486.8a	25.63a	124.77a	7.56b
		1993		
11-11-11	210.7c	25.19b	53.08c	6.43a
11-22-22	293.3b	28.53a	83.68ab	5.07bc
11-11-22	295.2b	26.44b	78.04b	4.73c
22-22-22	355.7a	26.27b	93.44a	5.66b

[z] Within-row spacing at planting, 30 days after planting, and silking, respectively. Between-row spacing was 75 cm.

[y] Means with the same letter of a column are not significantly different at 5% level by Duncan's New Multiple Range Test.

在全株乾重方面，最密植處理（11-11-11）在吐絲期之單株乾重顯著低於雄穗分化始期間拔株距至 22 cm 處理（11-22-22）之乾重，兩者並均較播種後株距即維持於 22 cm 之處理（22-22-22）爲低（表２），莖稈乾重的差異爲導致此項差距的主要原因（資料未列出）。成熟期的單株乾物重亦以最密植之11-11-11處理最低，22-22-22處理最高，而11-22-22與11-11-22兩項處理之間的差異在1992年未達顯著水準，在1993年則以前者爲高，顯示在本試驗條件下，吐絲期以前之密度處理對植株最終乾物產量並未能產生一定的作用（表２）。

表2. 栽培密度對臺農1號玉米植株乾物重（g/plant）的影響（1992及1993年秋作）

Table 2. Effect of plant spacing on the changes in dry weight (g/plant) of Tainung 1 corn plants cultivated in the fall crops of 1992 and 1993

Days after planting[z]	Within-row spacing (cm) [y]			
	11-11-11	11-22-22	11-11-22	22-22-22
	1992			
30	5.84b[x]	(5.84)	(5.84)	6.96a
48	31.43b	37.40b	(31.43)	52.75a
63	64.61c	88.97b	(64.61)	107.01a
126	151.93c	227.70b	232.65b	255.93a
	1993			
30	5.95b	(5.95)	(5.95)	7.13a
44	24.82b	25.98b	(24.82)	30.22a
61	57.08c	71.00b	(57.08)	84.01a
118	118.80d	171.81b	152.52c	193.73a

[z] Silking was 63 and 61 days after planting and maturity was 126 and 118 days after planting in 1992 and 1993, respectively.
[y] See Table 1 for description of spacing treatments.
[x] Means with the same letter of a column are not significantly different at 5% level by Duncan's New Multiple Range Test.

以單位面積爲基準計算植株在各生育階段的作物生長速率（crop growth rate, CGR），顯示在吐絲期以前均以密植者較高，如1992年及1993年11-11-11處理在吐絲前15與17日之作物生長速率分別爲 267.9 及 230.3 kg/ha・day（表3、4），遠高於11-22-22及22-22-22處理。11-22-22處理係於吐絲後30日（約爲雄穗分化始期）間拔，使栽培密度與22-22-22處理相同，前者在播種後30至45日期間的 CGR 顯著低於後者，唯1992年試驗中，在吐絲前17日期間已無顯著差異（表3）。1992年試驗部份，玉米植株於吐絲後的作物生長速率以最密植（11-11-11）及吐絲期進行間拔（11-11-22）兩項處理最高，都在 160 kg/ha・day 以上（表3），但1993年試驗中僅以最密植之11-11-11處理較高，其他處理間未發現顯著差異（表4）。

表3. 栽培密度對臺農1號玉米作物生長速率的影響（1992年秋作）

Table 3. Effect of plant spacing on the crop growth rate of Tainung 1 corn plants in the fall crop of 1992

Within-row spacing (cm) [z]	Days after planting[y]			
	0-30	30-48	48-63	63-126
	kg/ha・day			
11-11-11	24.2a[x]	172.1a	267.9a	168.5a
11-22-22	(24.2)	106.1c	208.5b	133.3b
11-11-22	(24.2)	(172.1)	(267.9)a	161.8a
22-22-22	13.9b	153.9b	219.4b	143.6b
	g/plant・day			
11-11-11	0.20a	1.42c	2.21b	1.39c
11-22-22	(0.20)	1.75b	3.44a	2.20b
11-11-22	(0.20)	(1.42)	(2.21)	2.67a
22-22-22	0.23a	2.54a	3.62a	2.37b

[z] See Table 1 for description of spacing treatments.
[y] Silking：63 days after planting； maturity：126 days after planting.
[x] Means with the same letter of a column are not significantly different at 5% level by Duncan's New Multiple Range Test.

表4. 栽培密度對臺農1號玉米作物生長速率的影響(1993年秋作)

Table 4. Effect of plant spacing on the crop growth rate of Tainung 1 corn plants in the fall crop of 1993

Within-row spacing (cm) [z]	Days after planting[y] 0-30	30-44	44-61	61-118
	kg/ha•day			
11-11-11	24.2a[x]	163.6a	230.3a	130.9a
11-22-22	(24.2)	86.7c	160.6c	107.3b
11-11-22	(24.2)	(163.6)	(230.3)	101.2b
22-22-22	14.6b	100.0b	191.5b	117.0b
	g/plant•day			
11-11-11	0.20a	1.35b	1.90c	1.08c
11-22-22	(0.20)	1.43b	2.65b	1.77ab
11-11-22	(0.20)	(1.35)	(1.90)	1.67b
22-22-22	0.24a	1.65a	3.16a	1.93a

[z] See Table 1 for description of spacing treatments.
[y] Silking：61 days after planting； maturity：118 days after planting.
[x] Means with the same letter of a column are not significantly different at 5% level by Duncan's New Multiple Range Test.

栽培密度處理對玉米植株生育期間氮素累積量的影響列於表5，在吐絲期以前，單株總氮素含量明顯以低密度栽培處理（如22-22-22）爲高，11-22-22處理係於雄穗分化始期以後即具有較大的生長空間，其吐絲期之氮素含量亦顯著高於11-11-11處理。在吐絲期時，植株氮素主要累積於葉片，佔總量之比例將近六成，並以密植處理較高（資料未列出）。在玉米子粒充實期間，總氮素含量均持續增加，主要爲子粒累積量劇增的結果，其他器官則多呈降低趨勢。成熟期的每株氮素含量以最疏植之22-22-22處理最高，最密植之11-11-11處理最低，其餘兩個自抽穗期開始即維持 22 cm 株距的處理介於其間，相互間的差異未達顯著水準（表5）。在年度之間進行比較，則以1992年試驗植株的氮素累積量絞高，自播種後約45日起即有明顯差異，成熟期各處理氮素含量在年度間的差距高達25—38%，顯示1993年試驗植株同化氮素能力與乾物質累積能力表現相似，同受栽培條件的顯著影響。

表5. 栽培密度對臺農1號玉米植株氮素累積量（mg/plant）的影響（1992及1993年秋作）

Table 5. Effect of plant spacing on the amount of N accumulated (mg/plant) by Tainung 1 corn plants grown in the fall crops of 1992 and 1993

Days after planting[z]	Within-row spacing (cm) [y] 11-11-11	11-22-22	11-11-22	22-22-22
	1992			
30	184.7b[x]	(184.7)	(184.7)	221.2a
48	690.3c	862.9b	(690.3)	1,164.1a
63	1,199.0c	1,695.2b	(1,199.0)	1,981.4a
126	1,690.3c	2,568.5b	2,510.1b	2,861.5a
	1993			
30	158.2b	(158.2)	(158.2)	206.3a
44	446.0b	440.5b	(446.0)	610.0a
61	954.8c	1,155.2b	(954.8)	1,389.2a
118	1,265.0c	1,689.0b	1,560.4b	2,010.7a

[z] See Table 1 for description of spacing treatments.
[y] Silking was 63 and 61 days after planting and maturity was 126 and 118 days after planting in 1992 and 1993, respectively.
[x] Means with the same letter of a column are not significantly different at 5% level by Duncan's New Multiple Range Test.

表 6 爲1992年玉米各生育階段之氮素累積速率，由表中資料得知，以單株爲計算基準，疏植處理的累積速率較高，如以單位面積爲計算基準，則以密植處理爲高。各處理之氮素累積速率在播種後30日以內甚低，均在 1 kg/ha•day 以下，其後快速增加，並以吐絲前約15日達到高峰，每公頃每日可累積 3.30-4.11 kg 的氮素，以密植處理 (11-11-11) 最高；雄穗分化始期行間拔處理 (11-22-22) 植株的氮素累積速率在吐絲前之增高尤其明顯，於播種後30至48日期間雖低於疏植之22-22-22處理，但吐絲前15日內已無明顯差異（表 6）。1993年試驗也表現相同的變化趨勢，唯各生育期的氮素累積速率明顯的低於1992年試驗結果（表 7）。

表6. 栽培密度對臺農 1 號玉米作氮素累積速率的影響(1992年秋作)

Table 6. Effect of plant spacing on the N accumulation rate of Tainung 1 corn plants grown in the fall crop of 1992

Within-row spacing (cm)[z]	Days after planting[y]			
	0-30	30-48	48-63	63-126
	kg/ha•day			
11-11-11	0.75a[x]	3.41a	4.11a	0.95b
11-22-22	(0.75)	2.28b	3.36b	0.84b
11-11-22	(0.75)	(3.41)	(4.11)	1.26a
22-22-22	0.45b	3.18a	3.30b	0.85b
	mg/plant•day			
11-11-11	6.16a	28.09c	33.91b	7.08c
11-22-22	(6.16)	37.68b	55.49a	13.86b
11-11-22	(6.16)	(28.09)	(33.91)	20.81a
22-22-22	7.37a	52.38a	54.49a	13.97b

[z] See Table 1 for description of spacing treatments.
[y] Silking : 63 days after planting ; maturity : 126 days after planting.
[x] Means with the same letter of a column are not significantly different at 5% level by Duncan's New Multiple Range Test.

表7. 栽培密度對臺農 1 號玉米氮素累積速率的影響(1993年秋作)

Table 7. Effect of plant spacing on the N accumulation rate of Tainung 1 corn plants grown in the fall crop of 1993

Within-row spacing (cm)[z]	Days after planting[y]			
	0-30	30-44	44-61	61-118
	kg/ha•day			
11-11-11	0.65a[x]	2.48a	3.63a	0.63a
11-22-22	(0.65)	1.24c	2.55b	0.57a
11-11-22	(0.65)	(2.48)	(3.63)	0.66a
22-22-22	0.42b	1.75b	2.78b	0.66a
	mg/plant•day			
11-11-11	5.27b	20.56b	29.93b	5.44b
11-22-22	(5.27)	20.16b	42.04a	9.37a
11-11-22	(5.27)	(20.56)	(29.93)	10.63a
22-22-22	6.88a	28.84a	45.84a	10.90a

[z] See Table 1 for description of spacing treatments.
[y] Silking : 61 days after planting ; maturity : 118 days after planting.
[x] Means with the same letter of a column are not significantly different at 5% level by Duncan's New Multiple Range Test.

玉米植株在雄穗分化始期所累積的乾物質量，僅佔成熟期總乾物量的2.5-3.8%(1992年)或3.5-5.0%(1993年)，而同一期間所累積的氮素量確高達7.2-10.9%(1992年)9.4-12.5%(1993年)(表8)，顯示在營養生長期間，氮素的相對累積速率爲乾物質累積速率的二至三倍。在處理間比較，均以密植處理(11-11-11)最高，其餘三個自播種或吐絲期開始株距維持 22 cm 的處理之間則無顯著差異。計算吐絲期植株累積乾物質與氮素量佔成熟期總含量的比例，乾物質介於27.8至48.1%之間，氮素介於47.8至75.5%之間，亦以密植處理最高，吐絲期間拔使株距增加爲 22 cm 的處理(11-11-22)最低(表8)，亦即原本較密植植株於吐絲後若具有較大生育空間，相對的可累積多量之乾物質與氮素。年度間的變化趨勢也有相似的表現，但1992年試驗中11-11-22處理在吐絲期的乾物質及氮素累積量僅爲成熟期總量之27.8%與47.8%，數值顯著低於其他處理及1993年試驗之數值。

表8. 玉米台農1號在雄穗分化始期及吐絲期之乾物質及氮素累積量與成熟期累積量的比值(%)(1992及1993年秋作)

Table 8. Ratio(%)of N and dry matter accumulation at tassel initiation and silking to the accumulation at maturity of Tainung 1 corn plants cultivated in the fall crops of 1992 and 1993

Within-row spacing (cm)[z]	Amount at tassel initiation to amount at maturity		Amount at silking to amount at maturity		Amount accumulated after silking to amount in kernel	
	Dry matter	Nitrogen	Dry matter	Nitrogen	Dry matter	Nitrogen
	1992					
11-11-11	3.8a[y]	10.9a	42.5a	70.9a	116.8b	42.7c
11-22-22	2.6b	7.2b	39.1a	66.0b	124.3b	51.5b
11-11-22	2.5b	7.4b	27.8b	47.8c	143.1a	74.3a
22-22-22	2.7b	7.7b	41.8a	69.2ab	118.6b	46.7bc
	1993					
11-11-11	5.0a	12.5a	48.1a	75.5a	116.0a	39.2c
11-22-22	3.5b	9.4b	41.3bc	68.4b	121.4a	47.1b
11-11-22	3.9b	10.1ab	37.4c	61.2c	122.3a	58.2a
22-22-22	3.7b	10.3ab	43.4b	69.1b	116.9a	46.9b

[z] See Table 1 for description of spacing treatments.

[y] Means with the same letter of a column are not significantly different at 5% level by Duncan's New Multiple Range Test.

計算玉米植株於吐絲後累積之乾物質及氮素量與成熟期子粒內乾物質及氮素量的比值，前者均在100%以上，後者最低僅爲39.2%，最高亦不過74.3%（表8）。就乾物質的表現而言，植株於吐絲後所累積的乾物質量均超過子粒產量，密植（11-11-11）與疏植（22-22-22）處理之間的表現幾乎完全相同，兩項改變栽培密度處理（11-22-22及11-11-22）雖呈現吐絲後有較高累積乾物質能力的趨勢，但除了1992年之11-11-22處理外，多數處理間的差異並未達顯著水準。在氮素方面，玉米植株在吐絲後的累積量顯著低於子粒內氮素含量，但於處理間比較，仍顯現年度間與處理間的差別；1992年試驗以11-22-22處理最高，植株抽穗後累積之氮素量爲成熟期子粒氮素含量之74.3%，其他三項處理較低，介於42.7至51.5%之間，且相互之差異不顯著；1993年試驗則以11-11-22處理最高（58.2%），其他三項處理（39.2-47.1%）之間亦無顯著差異。

討　論

本試驗之栽培密度處理經由改變播種至吐絲期間的株距，使玉米植株在吐絲期具有不同的乾物質累積量，在吐絲後株距同爲 22 cm 的三個處理中，以11-11-22處理在吐絲期的單株乾物量最低，11

-22-22處理居次，22-22-22處理最高，亦即乾物質累積量受營養生長期間栽培密度的直接影響；但是1992年試驗在子粒充實期間所累積的乾物量，卻以11-11-22處理最高（168.0 g/plant），11-22-22及22-22-22處理爲138.7及148.9 g/plant，三處理在子粒充實階段累積的乾物質佔成熟期總乾物質的比率，依序分別爲72.2、60.9與58.2%(表 8)，而三者在成熟期的乾物質生產量亦相接近(表 2)；1993年試驗上述三項處理在成熟期之總乾物量雖有顯著差異，但間拔處理在吐絲後所累積乾物量佔總乾物量的比值仍然較高（表 2）。上述結果顯示11-11-22與11-22-22處理植株在吐絲期的營養生長量雖然較22-22-22處理爲低，但吐絲後仍可能具有較高的相對乾物質生產能力；推測原因，可能與植株在田間的受光勢有關，Williams et al.[26]指出小幅增加玉米在開花期的受光量，即可大幅提高成熟期的乾物質與子粒產量；Andrade et al.[5]亦報告開花前二週至後二週的受光量與作物生長速率的表現密切相關，並影響玉米的積儲容量（sink size）。

上述三個自吐絲期開始即維持株距 22 cm 之處理的產量表現相近（表 1），亦即吐絲期的營養生長量對子粒產量未能產生絕對性的作用。玉米的積儲容量係以一株粒數與平均粒重的乘積表示，依Grant et al.[12]與 Tollenaar et al.[24]的報告，積儲容量在吐絲前一週至後三週決定，並受此一時期的乾物質累積量所影響，而 Tollenaar[23]認爲一穗粒數在開花期即已決定，並受開花期的光合物質生產量所影響；分析本試驗各項產量構成因素（表 1），1991與1992年試驗仍以11-11-22處理之一穗粒數低於11-22-22及22-22-22處理，亦即吐絲期營養生長量較低，的確使一穗粒數減少，較不利於產量表現；但是11-11-22處理卻具有最高的平均粒重；1993年試驗11-11-22處理的一穗粒數雖與11-22-22處理相同，但百粒重反而較低，均顯示兩項產量構成因素間的相互補償作用。

平均粒重是決定產量的重要因子，受子粒充實期間供源與積儲供需平衡關係的影響[6]。計算1992年試驗子粒充實期間以單株爲基準之作物生長速率（表 3）及吐絲後乾物質累積量與產量的比值(表 8)，發現11-11-22處理極顯著的高於11-22-22及22-22-22處理；此外，未發表的試驗資料顯示11-11-22處理植株在子粒充實後期（吐絲後48—65日）仍然具有極高的作物生長速率，而且以全株爲計量基準的作物生長速率遠高於子粒作物生長速率，在程度上有別於11-22-22及22-22-22處理，表示其子粒有效充實期間延長，且一穗粒數少，供源較爲充足，有利於提高平均粒重；同時也顯示即使在吐絲期營養生長量偏低的情況下，由於吐絲後具有良好及持續的光合成能力，其產量仍受限於積儲容積，供源並不是限制產量的主要因子[16]。

由表 8 資料得知在玉米子粒充實的全部過程中，不論栽培密度處理爲何，吐絲後植株累積之乾物量均超過子粒產量，幅度約在15-25%之間，最高可達43%，由於全株的作物生長速率均高於子粒的作物生長速率，表示供源能力超過需求。但是玉米子粒在不同階段的充實特性可能有異，本試驗曾發現在子粒快速充實期間，較密植處理（11-11-11、11-11-22及11-22-22）之子粒作物生長速率較全株作物生長速率爲高，換言之，吐絲前之密度逆境似仍顯現影響供源與積儲關係的效應，不過此種影響程度是否足以作用於產量，猶待商榷。林與劉[3]報告玉米莖稈內非構造性碳水化合物濃度在吐絲後50日以前均維持於20%以上，蔗糖濃度亦於吐絲後20-50日之間達到最高峰，顯示此種貯存於營養器官中的光合物質對因應子粒充實需要具有極高的緩衝能力[18]。Buren et al.[8]指出極端密植可能導致玉米植株提前發生老化現象，Prioul and Schwebel-Dungue[15]認爲在較低的栽培密度條件下，子粒於充實前期的積儲需求顯著低於供源能力，會影響子粒充實後期葉片碳水化合物同化作用的正常進行，玉米的光能利用效率（radiation useefficiency）也會顯著下降；依據這些結論綜合分析本試驗中玉米子粒充實全期的全株及子粒作物生長速率間的關係，顯示吐絲前的栽培密度逆境尚不足以導致吐絲後發生光合物質供源不足的現象。由乾物質生產的觀點來說，仍有可能因積儲容量之限制，未能充份將營養器官貯存之碳水化合物轉移至子粒，影響產量表現[20]。

在玉米營養生長期間改變栽培密度對產量生理的影響可以由氮素累積模式進一步予以說明，以吐

絲後株距均維持 22 cm 的三個處理爲例，植株在吐絲期與成熟期的氮素含量雖然以22-22-22處理高於兩項間拔處理較低（表 5），但間拔處理11-22-22與11-11-22植株在吐絲後所累積的氮素量爲873與1,311（1992年）及534與606mg/plant(1993年)，與22-22-22處理之880及622 mg/plant 比較，其累積量相近或更高，顯示兩處理植株在吐絲期的乾物質與氮素含量雖然較低，吐絲後仍可吸收多量氮素。王等[2]報告臺農 1 號玉米在吐絲期即已累積最終氮素含量之 70% 以上，本試驗中1992年部份11-22-22及22-22-22處理之此項比值分別別爲66.0與69.2%，11-11-22處理僅爲 47.8%，1993年部份11-22-22及22-22-22處理分別爲 68.4 與 69.1 %，而11-11-22處理卻僅爲 61.2%，亦即後者植株在吐絲後仍然相對的具有極高的氮素同化作用，是一項有利的生理性狀[17]。此外，在所有的栽培密度處理中，子粒充實全期的全株氮素累積速率均低於子粒的氮素累積速率，亦即吐絲後植株同化氮素的能力不能供應子粒充實的需要(資料未列出)，Ta and Weiland[21]也曾指出玉米在吐絲前所累積的氮素，有60-85%會於吐絲後轉移至子粒。但於本試驗各項處理間比較，仍以11-11-22處理植株的氮素供需平衡關係優於其他處理，子粒充實對再轉移性氮素依賴的程度較低，應有助於延長葉片生理活性，並使植株在子粒充實後期仍具有較高的乾物質生產能力[7]。

在本試驗條件下，雖然未能發現臺農 1 號玉米植株吐絲期乾物質累積量對子粒產量的絕對性影響，但在兩個年度試驗中，自雄穗分化始期至吐絲期的日數，約爲全生育期的四分之一，而經由分析表 8 資料得知，此一期間所累積竹乾物質可佔總乾物量的 25.3-43.1 %，所累積的氮素量更高達總氮素含量的 40.4-63.0 %，顯示此一階段表現極高的同化作用。由於玉米吐絲後的氮素同化作用不足以供應子粒充實需要，因此吐絲前的預貯性氮素應仍具有穩定產量的意義[17]；上述數值以吐絲期始進行間拔之11-11-22處理最低，亦即此一處理植株在吐絲期的乾物質與氮素含量較低，但子粒充實期間卻具有較高的相對同化能力，有助於各種產量性狀之表現。綜合各項結果，認爲在本試驗範圍內，吐絲期的乾物質生長量對子粒產量並不具決定性的作用，而玉米在子粒充實期間累積氮素與乾物質的能力，視植株在吐絲期的生長狀況與其後的環境因子，可能表現極大的變化幅度，並經由影響供源與積儲間的平衡關係而具有調節產量的功能。

誌　　謝

本計畫承農業委員會補助〔81農建-12.2-糧-47(3)、82科技-2.1-糧-33(3)及83科技-2.1-糧-11(3)〕，謹致謝意。

引用文獻

1. 王強生、王碧玉、劉大江。1988。玉米對溫度與光週期之生長反應。中華農業研究　37：379-388。
2. 王強生、林淑雰、劉大江。1989。玉米產量及相關生理性狀對栽培密度的反應。刊載於「玉米生理遺傳與育種研討會論文集」(謝昱暐、劉大江、朱德民、黃懿秦合編)。中央研究院植物研究所專刊第 7 號。第99-118頁。臺北市。
3. 林淑雰、劉大江。1990。影響碳水化合物自玉米穗軸轉移至子粒因素之研究　2. 子粒充實期間莖稈與穗軸醣類濃度的變化。中華農業研究　39：38-46。
4. 陳建成。1989。栽培密度與氮肥用量對玉米吐絲後乾物質及氮素累積性狀的影響。國立中興大學農藝研究所碩士論文。臺中市。
5. Andrade, F. H., S. A. Uhart, and M. I. Frugone. 1993. Intercepted radiation at flowering and kernel number in maize : shade versus plant density effects. Crop Sci. 33 : 482-485.

6. Bagnara, D. and T. B. Daynard. 1982. Rate and duration of kernel growth in the determination of maize(*Zea mays* L.)kernel size. Can. J. Plant Sci. 62 : 579-587.
7. Below, F. E., L. E. Christensen, A. J. Reed, and R. H. Hageman. 1981. Availability of reduced N and carbohydrates for ear development in maize. Plant Physiol. 68 : 1186-1190.
8. Buren, L., J. J. Mock, and I. C. Anderson. 1974. Morphological and physiological traits in maize associatd with tolerance to high plant density. Crop Sci. 14 : 426-429.
9. Cross, H. Z. 1990. Selection for rapid leaf expansion in earlymaturing maize. Crop Sci. 30 : 1029-1032.
10. Dalling, M. J. 1985. The physiological basis of nitrogen redistribution during grain filling in cereals. In : Exploitation of Physiological and Genetic Variability to Enhance Crop Productivity(J. E. Harper, L. E. Schrader, and R. W. Howell, eds.). Amer. Soc. Plant Physiol., Rockville, Maryland.
11. Feller, U. 1986. Proteolytic enzymes in relation to leaf senescence. In:Plant Proteolytic Enzymes, Vol. II(M. J. Dalling, ed.). CRC Press, Boca Raton, Florida.
12. Grant, R. F., B. S. Jackson, J. R. Kiniry, and G. F. Arkin. 1989. Water deficit timing effects on yield components in maize. Agron. J. 81 : 61-65.
13. Liu, D. J. 1987. Physiological and cultural studies of field corn grown on paddy field in Taiwan. In:Proceedings of Sino-Japan Symposium on Production Technology of Dryland Food Crops in Paddy Field(S. C. Hsieh and D. J. Liu, eds.). Taichung Dist. Agri. Improv. Sta., Changhua.
14. Nevado, M. E. and H. Z. Cross. 1990. Diallel analysis of relative growth rates in maize synthetics. Crop Sci. 30 : 549-552.
15. Prioul, J. and N. Schwebel-DUNGUE. 1992. Source-sink manipulations and carbohydrate metabolism in maize. Crop Sci. 32 : 751-7565.
16. Schoper, J. B., R. R. Johnson, and R. J. Lambert. 1982. Maize yield response to increased assimilate supply. Crop Sci. 22 : 1184-1189.
17. Schrader, L. E. 1984. Functions and transformations of nitrogen in higher plants. In: Nitrogen in Crop Production(R. D. Hauck, ed.). Amer. Soc. Agron., Madison, Wisc.
18. Setter, T. L. and V. H. Meller. 1984.Reserve carbohydrate in maize stem-^{14}C-glucose and ^{14}C-sucrose uptake characteristics. Plant Physiol. 75 : 617-622.
19. Sherrard, J. H., R. J. Lambert, M. J. Messmer, F. E. Below, anddn R. H. Hageman. 1984. Breeding plant for efficient use of nitrogen. In:Nitrogen in Crop Production(R. D. Hauck, ed.). Amer. Soc. Agron., Madison, Wisc.
20. Simmons, S. R. and R. J. Jones. 1985. Contribution of presilking assimilate to grain yield in maize. Crop Sci. 25 : 1004-1006.
21. Ta, C. T. and R. T. Weiland. 1992. Nitrogen partitioning in maize during ear development. Crop Sci. 32 : 443-451.
22. Tollenaar, M. 1977. Sink-source relationships during reproductive development in maize. A review. Maydica 22 : 49-75.

23. Tollenaar, M. and T. W. Bruulsema. 1988. Efficiency of maize dry matter production during periods of complete leaf area expansion. Agron. J. 80：580-585.

24. Tollenaar, M., L. M Dwyer, and D. W. Stewart. 1992. Ear and kernel formation in maize hybrids representing three decades of grain yield improvement in Ontaril. Crop Sci. 32：432-438.

25. Wang, C. S., C. S. Chen and Liu, D. J. 1990. Growth response to various cultural practices of corn grown in paddy fields. Tech. Bul. No. 120. Food & Fert. Tech. Center, Taipei. 15p.

26. Williams, W. A., R. S. Loomis, W. G. Duncan, A. Dovrat, and F. Nunez. 1968. Canopy architecture at various population densities and the growth and grain yield of corn. Crop Sci. 8：303-308.

The Accumulation of Dry Matter and Nitrogen during Vegetative Growth Period in Relation to Kernel Yield in Corn[1]

Meng-Li Wei[2], Yih-Jan Jiang[2], Lit-Fu Chan[3] and Dah-Jiang Liu[2]

Summary

The purpose of this study was to elucidate the relationship between vegetative growth at silking stage and kernel yield in maize. Experiments were conducted in the fall crops of 1991—1993 at Taiwan Agricultural Research Institute. Plant spacing of Tainung 1 corn hybrid at sowing was 75 cm between rows and either 11 or 22 cm between plants of a row. The between-plant spacing was changed from 11 cm to 22 cm in part of the plots by thinning the stand at tassel initiation or silking. The accumulation patterns of dry matter and N, as well as the performance of kernel yield, were investigated. Kernel yield per plant was lower whereas yield per unit area was higher for the high-density treatment. Comparison among the three treatments with between-row spacing of 22 cm at silking stage indicated that in spite of the differences in the amounts of dry matter and N accumulated prior to silking, kernel yield was not significantly different in most cases. During the interval between tassel initiation and silking which accounted for about one-fourth of the whole growth duration, the corn plant accumulated 25.3—43.1% of total dry matter and 40.4—63.0% total N, resulting in very high accumulation rate of both components. The amounts of dry matter and N accumulated at silking accounted for 27.8—48.1% and 47.8—75.5%, respectively, of the final amounts at maturity. The treatment of altering spacing at silking time exhibited the highest relative potential in post-silking production of both dry matter and N. During the kernel-filling period, the amount of dry matter produced by the whole plant was higher while the amount of N accumulated by the whole plant was lower than the amounts of respective component present in the kernels, suggesting that the dependence of kernel development on the pre-silking storage of N in the vegetative organs. It was concluded that vegetative growth at silking did not exert a definite effect on kernel yield of corn within the scope of the current experiments. The ability of corn plants to accumulate both dry matter and N during kernel filling was determined by both the growth conditions at silking and the environmental factors thereafter, which in turn exhibited the potential of adjusting the yield performance of corn plants.

Key words : *Zea mays,* plant spacing, vegetative growth, yield.

---

1. Contribution No. 1715 from Taiwan Agricultural Research Institute. This study was supported in part by grants from the Council of Agriculture, Executive Yuan, the Republic of China.
2. Respectively, Research assistant, Assistant, and Senior agronomist, Department of Agronomy, TARI, Wufeng, Taichung, Taiwan, ROC.
3. Research assistant, Office of Farm Management, TARI, Wufeng, Taichung, Taiwan, ROC.